

文章编号: 1000-0240(2008)06-1061-07

张掖市经济用水与水资源社会性稀缺

王 勇¹, 肖洪浪¹, 王瑞芳², 陆明峰¹

(1. 中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所 寒旱区流域水文及应用生态研究室, 甘肃 兰州 730000;

2. 邹城市环境监测保护站, 山东 济宁 273500)

摘 要: 在投入产出理论的基础上, 建立了价值-实物混合型的水资源投入产出模型, 以张掖市为例, 从各产业部门的用水特征、各产业部门间的水关系以及地区商品贸易等方面系统地分析了造成水资源稀缺的社会经济原因。结果表明: 尽管张掖水资源短缺, 但它却拥有一个较强耗水能力的经济体系, 其经济系统运行对水资源的需求几乎是其当前可用自然形态水的两倍, 远远超出其水资源供给能力, 对当地有限的水资源产生了巨大的压力; 各产业部门的用水特征及部门间的投入产出关系决定了张掖市经济生产对水资源产生的压力难以通过贸易的形式转移到其它富水地区, 然而其贸易结构却造成每年都有相当数量的水资源随商品以虚拟水的形式流向外地, 并最终导致了张掖市水资源的社会性稀缺。

关键词: 用水; 投入产出; 部门间水关系; 虚拟水; 水稀缺

中图分类号: F062.2 **文献标识码:** A

0 引言

水资源是西北干旱地区内陆河流域可持续发展过程中生态环境和经济系统之间矛盾的焦点和枢纽^[1-2]。干旱区水资源总量有限, 但随着人口的增长、经济发展速度的加快, 区域需水量却持续增加^[2]。当传统节水措施不再适合不断增加的水需求时, 从资源使用角度反思水资源短缺产出的机理和原因, 并由此寻找具有针对性的调控对策成为干旱区可持续发展亟待解决的关键问题之一^[3]。20世纪初, 西方学者就开始尝试将资源、环境等要素以账户的形式纳入到国民经济核算体系以探讨经济活动与资源环境之间的相互作用机制^[4]。但其构建的账户体系仅能反映经济活动、资源使用以及环境压力间简单的直接联系, 却忽略了生产过程中的各种潜在联系, 难以反映各经济部门与资源环境之间复杂的依存关系^[5]。为此, 许多学者提出将简单的环境经济账户转变为矩阵形式的投入产出表, 用于分析经济生产与资源环境之间的综合关系^[6-7]。1968年, Lofting 和 McCaughey 首先将水资源作为生产

要素, 并以实物的形式纳入到投入产出表, 用于研究加利福尼亚州的水资源效益与供需平衡问题^[5]。之后, 投入产出技术被广泛应用于经济部门用水、虚拟水计算以及污水排放等方面的研究^[8-11]。相对于各种环境经济账户, 基于投入产出技术的分析方法不仅可以准确地度量经济活动对水资源产生的压力, 更能从部门用水发生原因层次上认识水资源在社会经济系统的流动和转化过程^[12], 便于各种水问题的分析与研究。本文在投入产出理论的基础上, 建立了价值-实物混合型的水资源投入产出模型, 并以张掖市为例, 从各产业部门的用水特征、各产业部门间的水关系以及地区商品贸易等方面系统地剖析了造成水资源稀缺的社会经济原因。

1 研究方法与数据来源

1.1 研究方法

在分析国民经济用水时, 最常用来度量部门用水强度的指标是直接用水系数。在数值上, 部门 i 的直接用水系数 w_i^{d*} 等于该部门生产单位产品所需要使用的自然形态的水资源量, 其计算公式为:

收稿日期: 2008-02-26; 修订日期: 2008-06-09

基金项目: 中国科学院西部行动计划“黑河流域水循环与水资源管理研究”(KZCX2-XB2-04-03); 科技部 115 科技支撑项目“沙区水土资源优化配置与高效利用技术研究”(2006BAD26B02) 资助

作者简介: 王勇(1978—), 男, 山东滨州人, 2006 年在中国科学院寒区旱区环境与工程研究所获硕士学位, 现为博士研究生, 主要从事生态经济研究。E-mail: yongw1211@126.com

$$w_i^{d*} = w_i^d / x_i \quad (1)$$

式中: w_i^d 为部门 i 使用的自然形态的水资源量; x_i 为部门 i 的产出量。

任何产品在生产过程中除了直接消耗一些物理形态的水外, 还需要一定数量各部门的产品作为中间投入, 而这些产品在生产时也需要消耗水资源。虽然这一部分水的消耗发生于其它部门, 但却是为满足该部门对中间投入的需求而产生的, 所以也应计入该部门对水资源的总使用^[13]。对于该生产部门来说, 这一部分用水就是其间接用水, 直接用水与间接用水之和为其完全用水。一个部门的完全用水系数等于该部门增产一单位产品所导致整个经济体系总用水量的增加量。

$$w_j^{t*} = w_j^{d*} + \sum_{i=1}^n w_i^{t*} \cdot a_{ij} \quad (2)$$

式中: w_j^{t*} 为第 j 部门的完全用水系数; a_{ij} 为在一定的技术水平下, 第 j 个部门生产一单位产品时, 对第 i 个部门产品的直接消耗, 即直接消耗系数。该式右端第一项代表单位产出的直接用水, 而第二项则为各种中间投入产品含水量的之和, 即单位产出的间接用水。由 n 个生产部门组成的经济系统就会有 n 个类似于式 (2) 的数学表达式, 分别表示各个产业部门的用水状况, 用矩阵的形式表示出来就是:

$$W^{t*} = W^{d*} + W^{t*} \cdot A \quad (3)$$

式中: W^{t*} 和 W^{d*} 分别为完全用水系数和直接用水系数行向量; $A [a_{ij}]_{n \times n}$ 为直接消耗系数矩阵。经简单变换, 就可得到完全用水系数向量 W^{t*} 的计算公式:

$$W^{t*} = W^{d*} \cdot (I - A)^{-1} \quad (4)$$

式中: $(I - A)^{-1}$ 为投入产出分析中的列昂惕夫逆矩阵, 矩阵中的每个元素 $_{ij}$ 表示第 j 个部门生产单位最终使用产品时, 对第 i 个部门产品的完全需求量。由矩阵分解法则, 式 (4) 又可变换为:

$$W^{t*} = W^{d*} + W^{d*} \cdot A + W^{d*} \cdot A^2 + \dots + W^{d*} \cdot A^n \quad (5)$$

式 (5) 给出了完全用水系数的两个组成部分: n 个部门生产单位产品时所消耗自然形态的水量 W^{d*} , 即直接用水系数向量; 除直接用水量外, n 个部门生产单位产品时引起整个经济系统用水的增加量 $W^{d*} \cdot A + W^{d*} \cdot A^2 + \dots + W^{d*} \cdot A^n$, 即间接用水系数向量。

上述计算过程表明, 直接用水系数反映了生产过程中各产业部门对自然形态水的消耗强度, 完全用水系数则着眼于整个经济体系, 其所包含的用水不再局限于本部门的直接用水, 还包括为本部门生产所需要的中间投入而在其它生产部门发生的用水^[10]。从整体上来说, 相比直接用水系数, 完全用水系数是衡量部门生产活动对水资源使用压力的更为合适的指标。为研究直接用水与完全用水以及间接用水的关系, 这里引入用水乘数对此进行分析。

$$twc_i = \frac{w_i^{t*}}{w_i^{d*}} \quad (6)$$

公式 (6) 给出了经济部门 i 的完全用水乘数 twc_i , 它表示该部门单位直接用水所引起整个经济系统的总用水量^[5]。对完全用水乘数稍作调整, 就可得到间接用水乘数 iwc_i , 即一个部门单位直接用水所引起整个经济系统的间接用水量 (式 7)。

$$iwc_i = \frac{w_i^{t*} - w_i^{d*}}{w_i^{d*}} = twc_i - 1 \quad (7)$$

尽管间接用水系数和间接用水乘数能从量上反映了各部门生产对水资源间接影响的强度, 但是以上计算形式却不能反映间接用水是如何发生的。因此, 基于公式 (4), 利用投入产出模型在分解产业链上的优势, 计算了反映各产业部门间水关系的矩阵 W^* 。

$$W^* = \hat{W}^{d*} \cdot [(I - A)^{-1} - I] \quad (8)$$

式中: \hat{W}^{d*} 是将行向量 W^{d*} 表示成对角矩阵的形式。

基于对列昂惕夫逆矩阵的认识可知矩阵 W^* 中的每个元素 w_{ij} 表示第 j 个部门生产单位产品时引起第 i 个部门对水资源的使用量, 可理解为这些水资源嵌入部门 i 的产品后, 随着对部门 j 的投入而流入部门 j 。矩阵 W^* 中第 j 列各元素之和即为部门 j 的间接用水系数。

1.2 数据来源

投入产出数据来源于陈东景编制的张掖市 2002 年 10 部门投入产出表^[14], 其中第一产业分解为种植业、林业、畜牧业和渔业等部门; 依据当地经济发展情况, 第二、三产业分为采掘业、制造业、电力业、建筑业、运输邮电业和服务业等部门。分部门直接用水量 (表 1) 的原始数据以甘肃省水利厅的《甘肃 2002 年水资源公报》为准, 并参考了 2002 年张掖市水利处《农田灌溉统计年报》以及环保处《2002 年张掖市环境保护统计报表》中的部分数据。

表 1 张掖市 2002 年经济用水情况

Table 1 The water consumptions of different industries in Zhangye Municipality in 2002						
部门	直接用水量 / 10 ⁴ m ³	直接用水系数 / (m ³ · (10 ⁴ 元) ⁻¹)	完全用水量 / 10 ⁴ m ³	完全用水系数 / (m ³ · (10 ⁴ 元) ⁻¹)	完全用水乘数	间接用水乘数
种植业	189038.00	5897.59	232495.12	7253.36	1.23	0.23
林业	10600.25	8542.04	12720.96	10250.98	1.2	0.2
畜牧业	9328.95	898.42	32028.86	3084.53	3.43	2.43
渔业	1551.95	12942.16	2024.69	16884.53	1.3	0.3
采选业	401.82	54.20	4838.74	652.68	12.04	11.04
制造业	3752.62	92.60	66079.65	1630.59	17.61	16.61
电力业	1512.74	411.78	3205.44	872.54	2.12	1.12
建筑业	501.09	18.40	24390.71	895.63	48.68	47.68
运输邮电业	120.81	11.50	6597.17	628.00	54.61	53.61
服务业	605.00	17.86	15362.76	453.58	25.39	24.39
小计	217413.22	-	399744.08	-	-	-

2 结果分析

2.1 直接用水

从直接用水系数来看(表 1)，各农业部门对自然形态水的消耗强度要远远超过工业和服务业部门，其中渔业部门的直接用水强度最大，高达 12 942.16 m³ · (10⁴元)⁻¹，这与该类部门的生产特性，即对水依赖程度大有关；种植业的直接用水量虽然最多，占国民经济总用水量的 85.01%，但是较高的部门产出使其直接用水强度在各农业内部变得相对较低，为 5 897.59 m³ · (10⁴元)⁻¹；与此相比，一些农业部门，如林业，因其产出量很低，仅占社会总产值的 0.74%，造成单位产出的用水量非常高，仅次于渔业部门，为 8 542.04 m³ · (10⁴元)⁻¹。从用水构成来看，各农业部门对水资源的

直接消耗均超过了其完全消耗量的 70%，林业更是高达 83.33%(图 1)，表明农业部门在生产过程中很少间接消耗水资源，而是更多的依赖自然形态的水。

结合部门直接用水强度与完全用水构成的分析，不难发现农业是一种直接用水强度很高的生产部门，在缺水地区应当适当限制其发展，这样就可以为经济持续发展提供更大的空间。然而在张掖市，虽然其水资源十分有限，但自改革开放以来，各农业部门的发展却十分迅速。如表 2 所示，从 1980 年以来，直接用水强度最大的渔业部门的产值从几百元增长到 2002 年的 1 092.11 ×10⁴元，平均年增长率为 54.16%；种植业、林业与畜牧业的发展同样迅速，其产值的平均年增长率分别为 13.82%、19.10%和 16.47%。快速的发展与高强度的用水使得各农业部门对当地十分有限的水资源产生了巨大的压力。2002 年，农业部门直接使用的水资源总量超过 20 ×10⁸ m³，相当于张掖市国民经济用水总量的 94.66%，远远超出工业部门与服务

2.2 完全用水

对于各工业和服务业部门来说，相比直接用水系数，完全用水系数可以更准确地度量扩大生产对水资源产生的压力，因为在其生产过程中，生产一

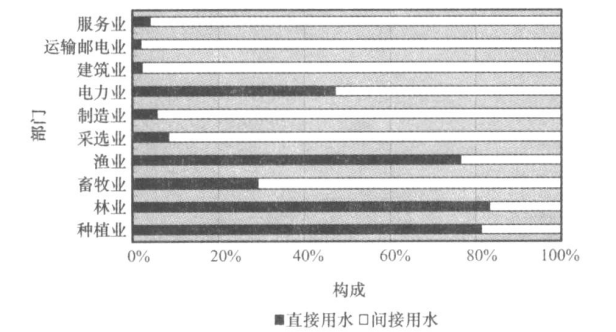


图 1 张掖市各产业部门完全用水的构成

Fig. 1 The composition of total water consumptions of different industries in Zhangye Municipality

表 2 张掖市 1978 - 2002 年各农业部门的产出 (10⁴元)

Table 2 The outputs of agricultures in Zhangye Municipality from 1978 to 2002 (10⁴ Yuan)

	农业	种植业	林业	畜牧业	渔业
1980	20456.70	16924.72	241.42	3290.48	0.08
1985	39140.53	28672.81	1598.94	8862.07	6.71
1990	100093.73	72885.54	2798.38	24298.90	110.91
1995	295475.69	204945.70	2221.19	87486.37	822.42
2000	355102.06	273107.84	9350.63	71635.68	1007.90
2001	364713.00	271327.44	9829.99	82219.54	1336.03
2002	398538.42	291925.51	11301.91	94218.88	1092.11
年增长率/ %	14.45	13.82	19.10	16.47	54.16

注：以上产值均为张掖市 1980 年的可比价。

单位产品所引发整个经济系统对水资源的需求量会远远超过生产这一单位产品的直接用水量。如图 1，除电力业外，其它工业部门的间接用水均占到其完全用水的 90 % 以上，其中运输邮电业、建筑业以及服务业部门更是超过 95 %，表明这些部门的生产虽然很少消耗自然形态的水，但是却更多地依赖其他各产业部门产品的投入。

引入用水乘数后，就可以更为清晰地研究各产业部门的直接用水、完全用水以及间接用水之间的关系。从表 1 可以看出，对于建筑业和运输邮电业来说，生产中每直接消耗 1m³ 的自然形态的水，这两个部门将会分别引发整个经济系统消耗掉 47.68 m³ 和 53.61 m³ 的水资源，表明它们的生产会对水资源间接产生一定的影响力。此外，服务业、制造业和采掘业的间接用水乘数同样也比较大，分别是 24.39、16.61 和 11.04。如果仅仅考虑直接用水，

以上几个部门都非常容易被从高耗水部门中排除掉，但是如果着眼于完全用水，就会发现它们的生产同样会引起大量水资源的消耗。若将间接用水计算在内，张掖市经济系统运行对水资源的需求几乎是其当前使用自然形态水的两倍(表 1)，远远超出其水资源供给能力。因此从各产业部门的用水特征分析来看，尽管张掖市是一个水资源缺乏的地区，但是却拥有一个较强耗水能力的经济体系。

2.3 部门间的水关系

完全用水系数主要在数量上反映了各部门中间投入结构的用水强度，而水资源投入产出分析的优势更在于它能从宏观上揭示经济系统中间接用水发生的原因所在。依据公式(8) 计算出了各产业部门间的水关系(表 3)。从纵向看，矩阵中每一列上的各个数值表示某一生产部门增产一单位产品时引起其它各经济部门用水的增加量，各列之和就是该部

表 3 张掖市各产业部门间的水关系矩阵 (m³ · (10⁴ 元)⁻¹)

Table 3 The matrix of water relations among different industries in Zhangye Municipality (m³ · (10⁴ Yuan)⁻¹)

	种植业	林业	畜牧业	渔业	采选业	制造业	电力业	建筑业	运输邮电业	服务业
种植业	1201.80	275.76	2092.64	3121.45	352.91	1307.38	233.86	647.55	453.76	277.31
林业	9.34	1377.36	7.65	48.38	7.32	10.68	3.31	6.37	6.70	12.75
畜牧业	90.94	8.49	40.21	44.99	14.66	55.89	9.89	26.47	19.15	12.06
渔业	4.28	6.44	4.72	658.37	15.03	12.92	8.34	11.83	14.75	55.22
采选业	1.11	0.99	0.90	1.41	13.26	5.19	6.87	7.31	2.89	1.93
制造业	20.33	18.00	19.63	26.41	35.69	52.08	24.64	66.41	43.85	25.06
电力业	25.13	18.29	17.52	36.93	149.84	85.69	167.55	101.72	63.75	42.27
建筑业	0.75	0.53	0.52	0.81	1.81	1.61	2.18	3.44	3.23	3.18
运输邮电业	0.36	0.45	0.40	0.67	1.83	1.27	0.71	1.31	2.40	1.29
服务业	1.74	2.63	1.92	2.95	6.13	5.27	3.40	4.82	6.02	4.65
合计	1355.77	1708.94	2186.11	3942.37	598.48	1537.99	460.76	877.23	616.50	435.72

门的间接用水系数；各行仅能表示某一部门与其它各生产部门的间接水关系。

从整体看，矩阵中较大的数据主要集中在各农业以及制造业和电力业部门所在的行，其中种植业部门所在行的数据量最大，说明种植业在生产过程中虽然直接消耗了大量的自然形态的水，但是当这些水嵌入产品后，却随着对各经济部门的中间投入而广泛地流入到经济系统中。对于间接耗水较多的建筑业、制造业、运输邮电业和服务业等部门来说，间接消耗的水资源主要来自于种植业、畜牧业、电力业和制造业等部门产品，而其中的制造业和服务业等产业部门间接消耗的水资源还是主要来自于种植业等农业部门产品。综合以上分析，可以看出张掖市经济生产给水资源带来的压力最终是通过农业部门施加给水资源的。

这里需要说明的是，由于间接耗水既可以发生在本地经济系统中，也可以通过进口（产品输入）转移到外地经济系统中发生，所以完全用水系数较高的工业与服务业部门同样可以作为地区发展的主导产业。然而通过以上对各产业部门间水关系矩阵的分析来看，农业是张掖市整个经济生产的基础部门，而间接用水较高的工业和服务业部门的生产大多是依靠当地丰富的种植业和畜牧业产品的投入来发展的。因此，当地发达的种植业与畜牧业通过水资源这种干旱区最重要的生产要素与工业和服务业部门建立了较强的联系，这就使得外地农产品难以进入张掖市，从而使张掖市难以具备从外地输入高含水农产品的条件和潜力，也就不能将经济生产对

水资源产生的压力通过贸易的形式转嫁到其它富水地区。在这种情况下可以考虑利用当地粮食库存较多的有利条件，加强退耕还林（草），并对对退耕还林（草）地区的农民给予了一定的钱粮补贴，以此推动经济结构的转型^[16-17]。

2.4 虚拟水贸易

区域贸易使得一个国家或地区商品的生产和消费相分离。从生产角度研究经济系统的用水仅能揭示出商品生产地各产业部门的用水情况，而从贸易角度研究商品的流动则能辩明嵌入商品中水的最终流向和归宿。20 世纪 90 年代，Tony Allan 首先提出虚拟水的概念用于缺水地区节水方面战略和政策措施的研究^[16]。他将虚拟水定义为生产商品和服务所需要的总水资源数量，即类似于这里的完全用水量。只不过他是从具体产品的角度定义的，是微观上的虚拟水，而本文则从各产业部门定义完全用水量，即宏观上的虚拟水。这种计算方法的优势在于它不仅能较为全面的反映各农业部门产品的虚拟水，而且也能计算工业和服务业产品中的虚拟水含量^[18]。

张掖市 2002 年各产业部门商品的输入输出以及根据完全用水系数计算出贸易中的虚拟水流动情况见表 4。从商品价值流量来看，张掖市商品总输出量为 375 432.46 ×10⁴元，总输入量是485 106.99 ×10⁴元，存在 109 674.53 ×10⁴元的商品净输入量，然而从经济贸易中隐含虚拟水流量来看，张掖市却是虚拟水净输出地区。计算结果表明 2002 年虚拟水净输出量为 48 896.51 ×10⁴m³，其数量巨大

表 4 张掖市 2002 年商品贸易与虚拟水流动
Table 4 The commodity trade and virtual water flows of Zhangye Municipality, 2002

部门	商品/10 ⁴ 元			虚拟水/10 ⁴ m ³		
	输出量	输入量	净输出量	输出量	输入量	净输出量
种植业	117984.60	1205.00	116779.60	85578.52	874.03	84704.49
林业	2275.80	3817.65	- 1541.85	2332.92	3913.47	- 1580.55
畜牧业	38096.43	9315.71	28780.72	11750.97	2873.46	8877.51
渔业	540.00	7739.81	- 7199.81	911.76	13068.30	- 12156.54
采掘业	21014.59	13958.20	7056.39	1371.59	911.03	460.56
制造业	28516.00	164230.00	- 135714.00	4649.78	26779.11	- 22129.33
电力业	0.00	87716.99	- 87716.99	0.00	7653.63	- 7653.63
建筑业	86890.68	98282.86	- 11392.18	7782.20	8802.51	- 1020.32
运输邮电业	25135.13	11163.25	13971.88	1578.49	701.06	877.44
服务业	54979.23	87677.52	- 32698.29	2493.73	3976.85	- 1483.12
合计	375432.46	485106.99	- 109674.53	118449.96	69553.45	48896.51

而且通常难以为人们所认识。进一步分析,作为甘肃省重要的商品粮生产基地,张掖市输出的主要是种植业、畜牧业等直接和完全耗水强度大的产品,相当部分水资源随商品以虚拟水的形式进入全国市场,而输入的则主要是制造业、电力业、服务业和建筑业等虚拟水含量相对较少的产品,因此才造成了商品贸易顺差,虚拟水贸易逆差的局面。一方面,这种贸易结构不利于张掖市经济结构的转型,即难以实现由以第一产业为主的高耗水、低效率的经济结构转向以第二、三产业为主的低耗水、高效率的经济结构;另一方面,对于水资源本来就十分短缺的张掖市来说,大量水资源密集型农产品的输出进一步地加剧了其水资源稀缺程度。

对于以上计算结果,需要说明的是在这里采用了张掖市各产业部门的完全用水系数估算了进口商品的虚拟水含量,主要因为:1) 尽管研究区域外部商品的生产结构以及用水强度与研究区存在一定的差异,但是研究区输入的商品主要是一些工业和服务业产品,其虚拟水含量较少,并且此类商品在不同区域生产时,其耗水强度的差异较小;2) 这里的研究目标是为了粗略地估算一下虚拟水输入输出差,而不是详细的贸易平衡研究;3) 这种处理方法也广泛用于能源消耗分析^[19]。

3 结论

(1) 尽管张掖市是一个水资源缺乏的地区,但是却拥有一个较强耗水能力的经济体系。农业部门具有较强的直接耗水能力,它的发展消耗掉了该地区绝大部分自然形态的水,给有限的水资源带来巨大的压力;各工业和服务业部门虽然很少消耗自然形态的水,但是它们的生产却会引起整个经济系统总用水量的大幅增加。由于自然地质、环境影响与经济成本等因素,在短期内很难实现跨流域调水,水资源供给有限,且缺乏弹性,社会经济系统对水资源的大量消耗必然导致水资源的稀缺。

(2) 从部门间的水关系来看,直接用水量较多的农业是张掖市整个经济生产的基础部门,而间接用水较高的工业和服务业部门的生产大多是依靠当地丰富的种植业和畜牧业产品的投入来发展的。这样的生产结构使其难以具备从外地输入高含水农产品的条件和潜力,也就不能将经济生产对水资源产生的压力通过贸易的形式转移到其它富水地区,最终导致水资源的社会性稀缺。

(3) 从商品贸易角度来看,张掖市输出的主要

是种植业、畜牧业等直接和完全耗水强度很大的产品,而其输入的则主要是制造业、电力业、服务业和建筑业等虚拟水含量相对较少的产品。这种不合理的贸易结构使得张掖市在虚拟水贸易中处于不利的位置,每年都有相当数量的水资源随商品以虚拟水的形式流出本地,加剧了该地区水资源的稀缺程度。为改善张掖及黑河流域的生态环境,推动经济结构的转型,可以考虑利用当地粮食库存较多的有利条件,对退耕还林(草)地区的农民给予了一定的钱粮补贴。对干旱区而言,这实际上就是虚拟水战略的运用。

参考文献(References):

- [1] Cheng Guodong, Xiao Honglang, Xu Zhongmin, *et al.* Water issue and its countermeasure in the inland river basins of Northwest China—A case study in Heihe River Basin[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2006, **28**(3): 406 - 413. [程国栋,肖洪浪,徐中民,等. 中国西北内陆河水问题及其应对策略——以黑河流域为例[J]. *冰川冻土*, 2006, **28**(3): 406 - 413.]
- [2] Cheng Guodong. Study on the sustainable development in Heihe River watershed from the view of ecological economics[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2002, **24**(4): 335 - 341. [程国栋. 黑河流域可持续发展的生态经济研究[J]. *冰川冻土*, 2002, **24**(4): 335 - 341.]
- [3] Long Aihua, Xu Zhongmin. Pilot study on the allocation of initial water rights—a case study for the middle reaches of Heihe River basin[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2004, **18**(2): 48 - 54. [龙爱华,徐中民. 流域水资源初始产权界定初探——以黑河流域中游为例[J]. *干旱区资源与环境*, 2004, **18**(2): 48 - 54.]
- [4] Ma Zhong, Long Aihua, Shang Haiyang. Preliminary construction of the regional material flow accounts in Zhangye[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2007, **29**(6): 953 - 959. [马忠,龙爱华,尚海洋. 黑河流域张掖市物质流账户体系的初步构建[J]. *冰川冻土*, 2007, **29**(6): 953 - 959.]
- [5] Velázquez E. An input - output model of water consumption: Analysing intersectoral water relationships in Andalusia[J]. *Ecological Economics*, 2005, **56**(2): 226 - 240.
- [6] Duarte R, Cház J S, Bielsa J. Water use in the Spanish economy: an input output approach [J]. *Ecological Economics*, 2002, **43**(1): 71 - 85.
- [7] Suh S, Lenzen M, Treloar GJ, *et al.* System boundary selection in life-cycle inventories using hybrid approaches[J]. *Environmental Science and Technology*, 2004, **38**(3): 657 - 664.
- [8] Proops J L R, Atkinson G, Schlottheim B F, *et al.* International trade and the sustainability footprint: a practical criterion for its assessment[J]. *Ecological Economics*, 1999, **28**(1): 75 - 97.
- [9] Lenzen M. A guide for compiling inventories in hybrid LCA: some Australian results [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2002, **10**(6): 545 - 572.
- [10] Okadera T, Watanabe M, Xu Kaiqin. Analysis of water demand and water pollutant discharge using a regional input out-

- put table: An application to the City of Chongqing, upstream of the Three Gorges Dam in China[J]. *Ecological Economics*, 2006, **58**(2): 221 - 237.
- [11] Chen X K. Shanxi water resource input-occupancy-output table and its application in Shanxi Province of China[C]// Paper for the Thirteenth International Conference on Input - Output Techniques. Macerata, Italy, 2000.
- [12] Jesper M, Wier M, Lenzen M *et al.* Using input-output analysis to measure the environmental pressure of consumption at different spatial levels [J]. *Journal of Industrial Ecology*, 2005, **9**(1 - 2): 169 - 85.
- [13] Xu Jian, Chen Xikang, Yang Cuihong. Calculating method for total water input coefficient and water input coefficient for added value[J]. *Advances in Science and Technology of Water Resources*, 2003, **23**(2): 17 - 20. [许健, 陈锡康, 杨翠红. 完全用水系数及增加值用水系数的计算方法[J]. *水利水电科技进展*, 2003, **23**(2): 17 - 20.]
- [14] Xiao Honglang, Cheng Guodong. The integrated management study of water, ecology and economy system in Heihe River Basin[M]. Beijing: Science Press, 2008. [肖洪浪, 程国栋. 黑河流域水 - 生态 - 经济系统综合管理研究[M]. 北京: 科学出版社, 2008.]
- [15] Ji Xibin, Kang Ersi, Chen Rensheng *et al.* Prediction of groundwater level in the irrigating areas of the middle reaches of Heihe River[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2006, **28**(3): 421 - 427. [吉喜斌, 康尔泗, 陈仁升, 等. 黑河中游灌区地下水位短期季节性变化趋势预测[J]. *冰川冻土*, 2006, **28**(3): 421 - 427.]
- [16] Cheng Guodong. Virtual water ——A strategic instrument to achieve water security[J]. *Bulletin of The Chinese Academy of Sciences*, 2003, **18**(4): 260 - 265. [程国栋. 虚拟水 ——中国水资源安全战略的新思路[J]. *中国科学院院刊*, 2003, **18**(4): 260 - 265.]
- [17] Qu Wei, Niu Shuwen. Utilization and protection of water resources in the inland river basins of the arid regions in China [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2007, **29**(4): 595 - 602. [曲玮, 牛叔文. 中国干旱地区内陆河流域水资源利用与保护[J]. *冰川冻土*, 2007, **29**(4): 595 - 602.]
- [18] Huang Xiaorong, Pei Yuansheng, Liang Chuan. Input/ output method for calculating the virtual water trading in Ningxia[J]. *Advances in Water Science*, 2005, **27**(3): 135 - 139. [黄晓荣, 裴源生, 梁川. 宁夏虚拟水贸易计算的投入产出方法[J]. *水科学进展*, 2005, **27**(3): 135 - 139.]
- [19] Kok R, Ren ÉM J B, Henri C M. Measuring the environmental load of household consumption using some methods based on input output energy analysis: A comparison of methods and a discussion of results [J]. *Energy Policy*, 2006, **34**(17), 2744 - 2761.

The Analysis of Water Consumption and Water Shortage in Zhangye Municipality

WANG Yong¹, XIAO Hong-lang¹, WANG Rui-fang², LU Ming-feng¹

(1. Laboratory of Watershed Hydrology and Ecology, CAREERI, CAS, Lanzhou Gansu 730000, China;

2. Zoucheng Environmental Monition and Protection Station, Jining Shandong 273500, China)

Abstract: In this paper, an extended input-output model for considering specific questions about the relationship between economic structure and economic activity is presented, which opens up a path for the study not only of economic production but also of the effects of production and consumption on the physical resources. Based on the framework, the direct and indirect water consumption coefficients, the water consumption multiplier and the matrix of water relations among different industries are calculated. By analyzing the indicators drawn from the input-output model of water consumptions of different industries, a deeper understanding on the social construction of water shortage is obtained. The results show that despite its water shortage, Zhangye Municipality possesses an economic structure of strong water consumption. Agriculture consumes great quantities of water di-

rectly, while industrial and service departments consume lots of water indirectly. The latter is unnoticed because of the low indicators of direct water consumption. If the indirect consumptions are taken into account, the total volume of water consumption in Zhangye Municipality is nearly two times of the available water supply. Water consumption characteristics of different industries and the input-output relations among different industries decide that the economic production in Zhangye Municipality has a great demand of water resources, which can not be repaid by trade from other water-rich areas. However, its trade structure actually created has considerable amount water resources to flow to the outside areas every year along with the commodity in the virtual water form, and caused the water resources in Zhangye Municipality to be scarce in a society scale finally.

Key words: water consumption; input-output; water relations among different industries; virtual water; water shortage